	<p>Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)</p>
---	--

ФАКУЛЬТЕТ «ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

КАФЕДРА «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2 ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ:  
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

***“РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ БАРЬЕРНОЙ ЁМКОСТИ  
ДИОДА”***

Студент: **Зернов Георгий Павлович**

Группа: **ИУ7-34Б**

Вариант: **86**

Название предприятия: **НУК ИУ МГТУ им. Н. Э. Баумана**

Студент \_\_\_\_\_ **Зернов Г.П.**

Преподаватель \_\_\_\_\_ **Оглоблин Д.И.**

## **Оглавление**

<b>ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА</b> .....	3
<b>ХОД РАБОТЫ</b> .....	4
Исследуемый диод .....	4
Создание схемы в программе Microcap .....	4
Получение резонансной частоты .....	4
Получение формулы зависимости резонансной частоты от напряжения на источнике .....	6
Анализ данных .....	7
Анализ полученных значений .....	8
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	9

## **ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА**

Получение в программе схемотехнического анализа Microcap и исследование статических характеристик кремниевого полупроводникового диода с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов. Освоение программы Mathcad для расчёта параметров модели полупроводниковых приборов на основе данных экспериментальных исследований.

# ХОД РАБОТЫ

## Исследуемый диод

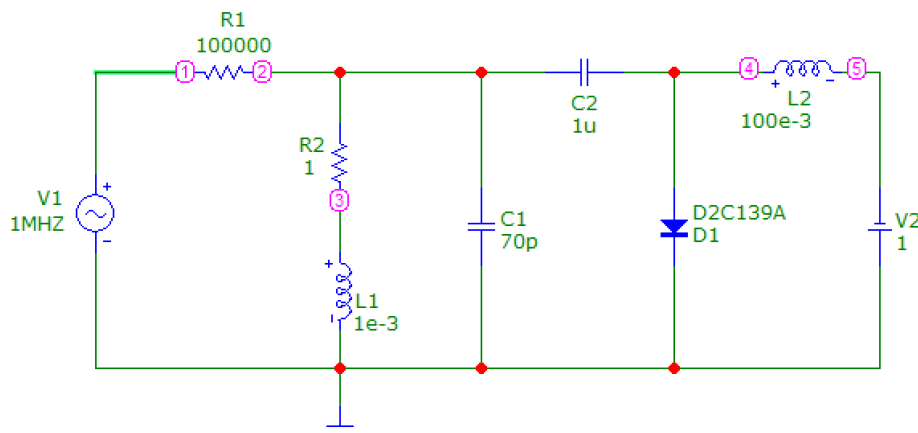
В работе проводится исследование диода D2C139A.

Характеристики диода из библиотеки:

```
.model D2C139A D(Is=31.47f Rs=9.494 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11 Cjo=220p M=.5959  
+ Vj=.75 Fc=.5 Isr=2.035n Nr=2 Bv=3.928 Ibv=43.84m  
* Nbv=60 Ibv1=3m Nbv1=180  
+ Tbv1=-1.0m)
```

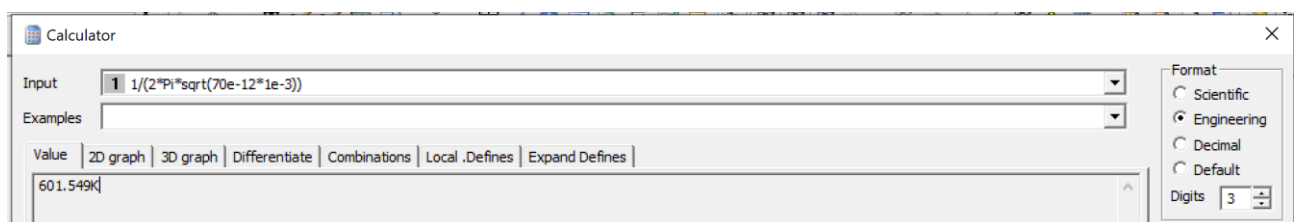
## Создание схемы в программе Microcap

Диод, включенный в обратном направлении, постоянный ток не пропускает и представляет собой емкость, управляемую напряжением V2. Измерить эту емкость можно косвенно, измеряя частоту известного контура с подключенной емкостью диода и пересчитывая частоту в дополнительную емкость. Для этого в программе Microcap создадим приведённую ниже цепь для измерения резонансной частоты:

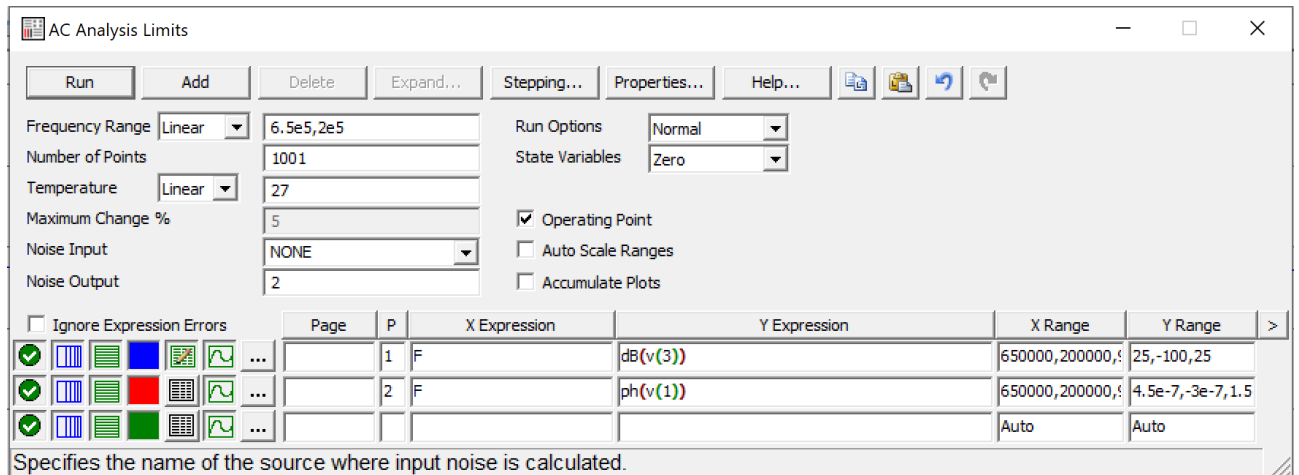


## Получение резонансной частоты

Предварительно частоту контура можно рассчитать во встроенном калькуляторе из формулы Томпсона:



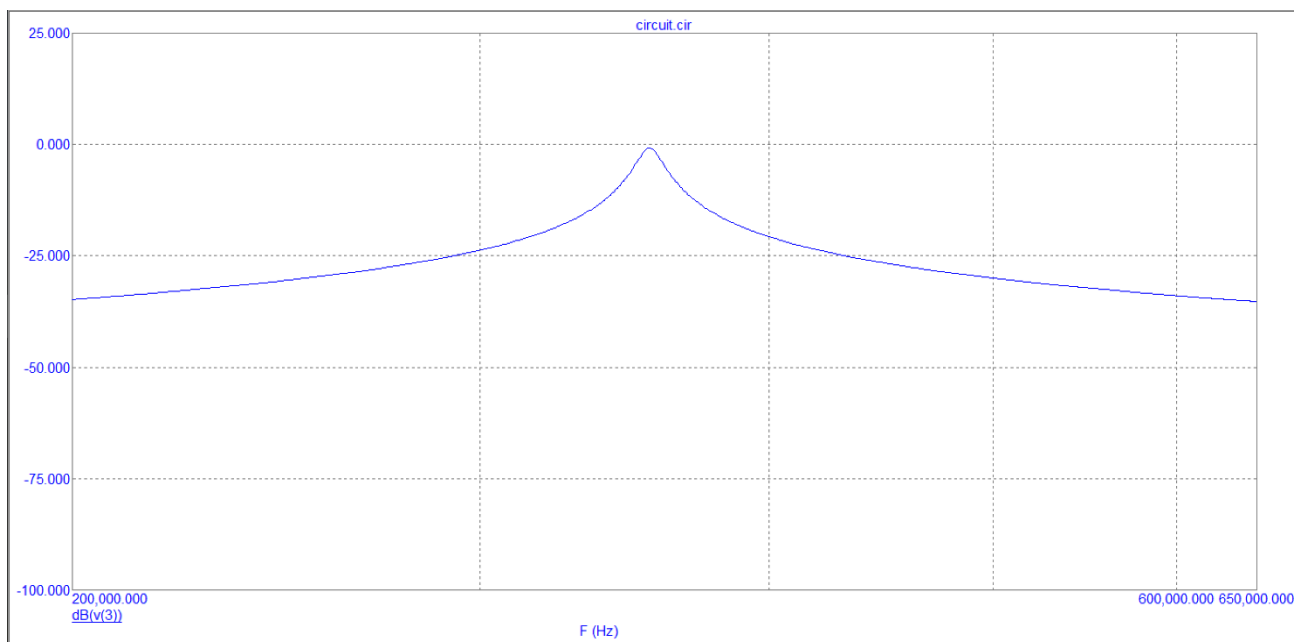
Для точного нахождения резонансной частоты проведём анализ по переменному току (АС). Из предварительного расчёта выберем диапазон частот от 650кГц до 200кГц так этот расчёт не учитывает наличие диода (при его добавлении резонансная частота упадёт). В дальнейшем если резонансная частота не попадёт в данный диапазон его можно будет скорректировать. Выставим необходимые значения на панели “AC Analysis Limits”:



Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	F	dB(v(3))	650000,200000,5	25,-100,25
2	2	F	ph(v(1))	650000,200000,5	4.5e-7,-3e-7,1.5
				Auto	Auto

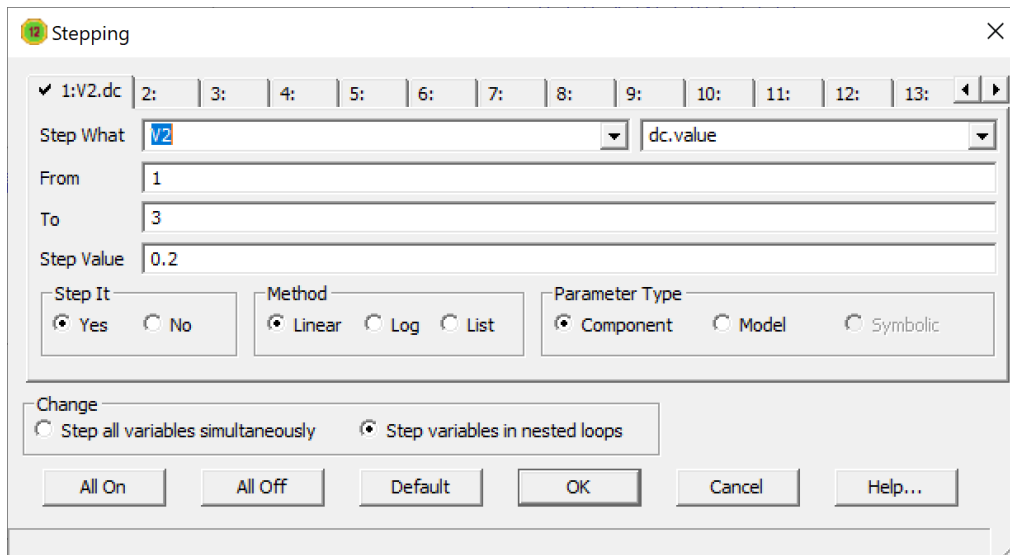
Specifies the name of the source where input noise is calculated.

Затем запустим симуляцию и построим резонансную кривую:

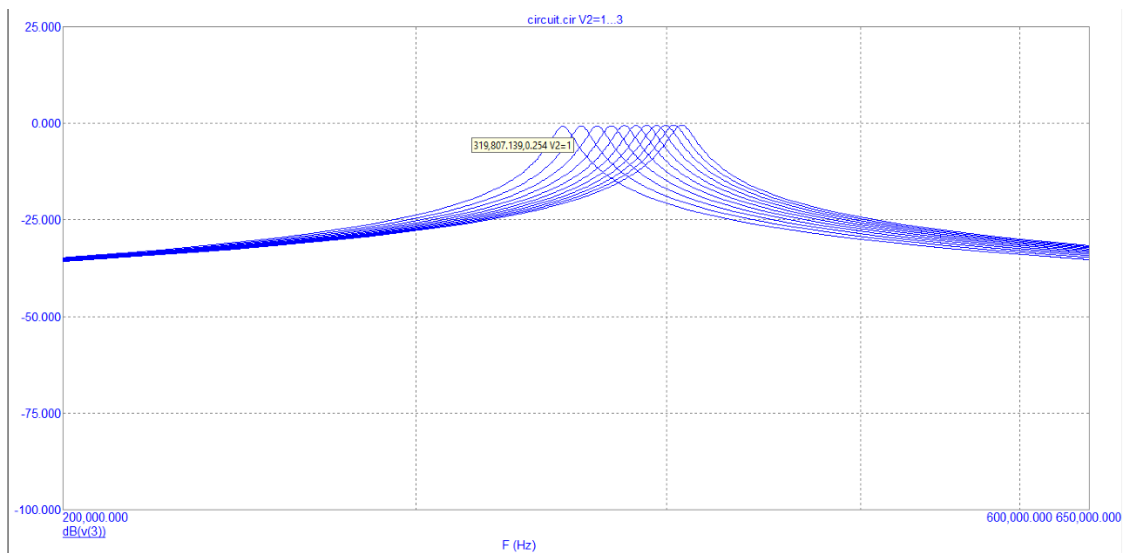


## Получение формулы зависимости резонансной частоты от напряжения на источнике

Изменяя значение напряжения V2, можно получить зависимость значения резонансной частоты от него. Для этого включим многовариантный режим анализа на панели “AC Analysis Limits/Stepping”, так чтобы для каждого из значений напряжения была построена резонансная кривая:



Получим резонансные кривые:



## Анализ данных

Получим таблицу напряжений и резонансных частот. Заметим, что напряжения будут отрицательными так как диод подключен в обратном направлении.

```
|-1.0 355250
-1.2 362900
-1.4 369650
-1.6 375500
-1.8 381350
-2.0 386300
-2.2 391250
-2.4 395300
-2.6 399800
-2.8 403400
-3.0 407000
```

Снятые показания импортируем в программу Mathcad в таблицу Data. В Vvar запишем значения напряжения, в то время как в Fmax запишем значения частоты. Построим график зависимости Fmax(Vvar):

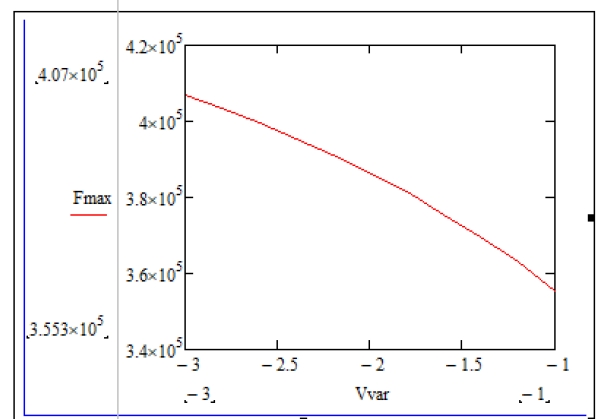
Data := READPRN("C:\Users\zemo\Desktop\Electronics\Lab\_2\circuit.ANO")

Vvar := Data<sup><0></sup>

	0
0	-1
1	-1.2
2	-1.4
3	-1.6
4	-1.8
5	-2
6	-2.2
7	-2.4
8	-2.6
9	-2.8
10	-3

Fmax := Data<sup><1></sup>

	0
0	3.553·10 <sup>5</sup>
1	3.629·10 <sup>5</sup>
2	3.696·10 <sup>5</sup>
3	3.755·10 <sup>5</sup>
4	3.813·10 <sup>5</sup>
5	3.863·10 <sup>5</sup>
6	3.913·10 <sup>5</sup>
7	3.953·10 <sup>5</sup>
8	3.998·10 <sup>5</sup>
9	4.034·10 <sup>5</sup>
10	4.07·10 <sup>5</sup>



Из формулы Томпсона резонансная частота контура:

$$Fr := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(Ck + Cd) \cdot Lk}}$$

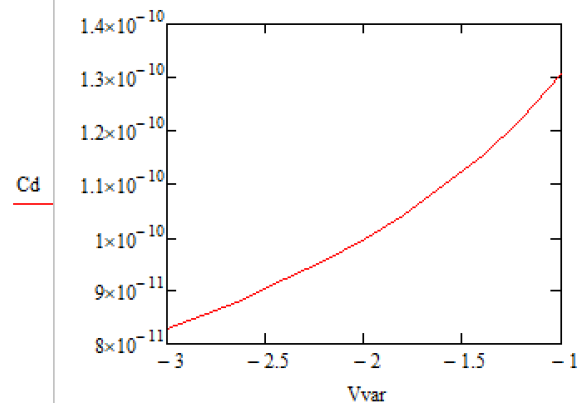
Где Ck – ёмкость конденсатора (C1), Cd – ёмкость диода, а Lk – известная индуктивность (L1).

Проведём расчёт ёмкости диода для всех значений напряжения и построим график:

$$C_k := 70 \cdot 10^{-12} \quad L_k := 10^{-3} \quad \pi := 3.14159$$

$$C_d := \frac{C_k \cdot L_k - \frac{1}{(4 \cdot F_{\max}^2 \cdot \pi^2)}}{L_k}$$

	0
0	$1.307 \cdot 10^{-10}$
1	$1.223 \cdot 10^{-10}$
2	$1.154 \cdot 10^{-10}$
3	$1.096 \cdot 10^{-10}$
4	$1.042 \cdot 10^{-10}$
5	$9.974 \cdot 10^{-11}$
6	$9.547 \cdot 10^{-11}$
7	$9.21 \cdot 10^{-11}$
8	$8.847 \cdot 10^{-11}$
9	$8.566 \cdot 10^{-11}$
10	$8.292 \cdot 10^{-11}$



С помощью метода Given-Minerr получим барьерную ёмкость, контактную разность потенциалов диода и коэффициент плавности p-n перехода:

$$CJ0 := 10^{-12} \quad VJ0 := 0.6 \quad M := 0.5$$

Given

$$Cd_0 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_0}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$Cd_5 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_5}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$Cd_{10} = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_{10}}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$Minerr(CJ0, VJ0, M) = \begin{pmatrix} 2.184 \times 10^{-10} \\ 0.722 \\ 0.59 \end{pmatrix}$$

## Анализ полученных значений

Сравним значения с данными в библиотеки диодов.

- $Cj0$ : 218 пФ, табличное значение 220 пФ
- $Vj$ : 0.722 В, табличное значение 0.75 В
- $M$ : 0.59, табличное значение 0.5959

Так как полученные значения находятся от табличных в пределах погрешности, то метод по результатам проведённого можно считать достаточно точным.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Были выполнены все задачи, описанные выше, таким образом были получены и проанализированы характеристики полупроводникового диода.